

ОРИЕНТАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ И СВЕРХЭЛАСТИЧНОСТИ В ФЕРРО- И МЕТАМАГНИТНЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ

Кренинина Ирина Владимировна

руководитель - вед.н.с., д. ф.-м. н. Киреева И.В., научный консультант:

д. ф.-м. наук, профессор Чумляков Ю.И.

ОСП «СФТИ ТГУ», г. Томск

irbas@sibmail.com

В сплавах, испытывающих термоупругие мартенситные превращения (МП) при охлаждении/нагреве и под нагрузкой, наблюдаются эффекты памяти формы (ЭПФ) и сверхэластичности (СЭ). СЭ связана с развитием под нагрузкой обратимых МП и обычно наблюдается при температурах $T > A_f$ (A_f - температура обратного МП при нагреве). ЭПФ – способность сплава при нагреве выше A_f возвращать, приобретенную ранее в мартенситном состоянии, деформацию и восстанавливать форму.

В настоящее время возрос интерес к сплавам, проявляющим магнитный эффект памяти формы (МЭПФ). МЭПФ – это изменение линейных размеров кристалла под действием магнитного поля. Так, например, в таких кристаллах как Ni_2MnGa под действием магнитного поля линейные размеры изменяются более чем на 6 %. Однако в практическом плане использование кристаллов Ni_2MnGa невозможно из-за их хрупкости. Поэтому в данной работе ставилась задача на новом классе монокристаллов $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ и $Ni_{45}Mn_{36.5}Co_5In_{13.5}$ (ат.%) исследовать термический и механический гистерезисы, обычный ЭПФ и СЭ в зависимости от ориентации и температуры испытания при деформации сжатием. Выбор монокристаллов сплавов $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ и $Ni_{45}Mn_{36.5}Co_5In_{13.5}$ обусловлен следующим: во-первых, в ферромагнитном сплаве $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ температура Кюри T_C – фазового магнитного перехода не совпадает с температурой фазового мартенситного перехода, а в метамгнитном сплаве $Ni_{45}Mn_{36.5}Co_5In_{13.5}$ – совпадает [1, 2]. Это дает возможность сравнить особенности развития МП у разного класса магнитных сплавов. Во-вторых, данные сплавы обладают различными МП, сплав $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ испытывает B2-L1₀ МП, а сплав $Ni_{45}Mn_{36.5}Co_5In_{13.5}$ – L2₁-12М МП [1, 2]. Это дает возможность проследить влияние различного типа МП на величину термического и механического гистерезисов, которые являются определяющими факторами в появлении МЭПФ. Для исследования ориентационной зависимости СЭ и ЭПФ монокристаллов были выбраны ориентации [001] и [011], которые обладают большей величиной деформации решетки ϵ_0 для каждого типа МП и, следовательно, должны обладать большими величинами ЭПФ и СЭ (рис.1, 2).

Исследования на монокристаллах сплава $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ проводились в состоянии после роста без дополнительных термических обработок.

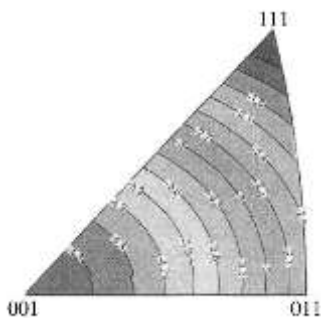


Рис.1. Теоретический эффект памяти формы для B2 – L1₀ мартенситного превращения при сжатии [1]

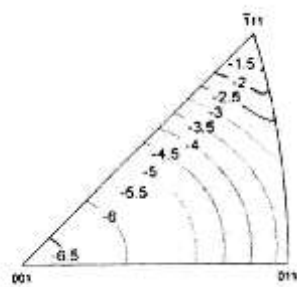


Рис.2. Теоретический эффект памяти формы для L2₁-12M мартенситного превращения при сжатии [2]

ориентационная зависимость ЭПФ при B2-L1₀ - МП. Максимальные значения ЭПФ наблюдаются в [001]-кристаллах – $\varepsilon_0=4.5\%$, а в [011]- кристаллах $\varepsilon_0=2.5\%$. Экспериментальные значения ЭПФ совпадают с теоретически рассчитанными значениями деформации решетки ε_0 для B2-L1₀ - МП (рис.1).

СЭ имеет место от 193 К до 413 К (рис.3). «Окно» СЭ $\Delta T_{СЭ}$, которое в полном объеме не удалось установить из-за ограничения температурных возможностей на установке для [001]- и [011]-кристаллов составляет 220 К (рис.3). Величина СЭ при Т испытания вблизи комнатной для [001]- кристаллов $\varepsilon_{СЭ}=4-4,5\%=\varepsilon_0$, а для [011]- кристаллов $\varepsilon_{СЭ}=2,5\%=\varepsilon_0$. С ростом температуры испытания $\varepsilon_{СЭ}$ при $T>373$ К уменьшается в обеих ориентациях. Из рис. 3 видно, что [001]- кристаллы характеризуются узким механическим гистерезисом $\Delta\sigma=25-30$ МПа, тогда как в [011]- кристаллах $\Delta\sigma$ в 2.5 раза больше.

Исследования на монокристаллах сплава Ni₄₅Mn_{36.5}Co₅In_{13.5} проводились после термической обработки – отжиг при $T=1173$ К в течение 24 часов и плюс дополнительное старение при $T= 923$ К в течение 24 часов. После данной термической обработки кристалл оказывается двухфазным – состоит из высокотемпературной фазы с L2₁-структурой и частиц γ – фазы. При охлаждении L2₁-структура переходит в 12M-мартенсит. L2₁-12M- МП характеризуется узким температурным гистерезисом $\Delta T=15$ К ($M_s=282$ К– температура начала прямого МП при охлаждении, $A_f=297$ К). В монокристаллах Ni₄₅Mn_{36.5}Co₅In_{13.5} при деформации сжатием также обнаружена ориентационная зависимость ЭПФ при L2₁-12M - МП. Максимальные значения ЭПФ наблюдаются в [001] – $\varepsilon_0=6.8\%$, а в [011]- кристаллах $\varepsilon_0=3.2\%$. Экспериментальные значения ЭПФ оказываются близкими к теоретически

В состоянии после роста кристалл является двухфазным и состоит из высокотемпературной B2-фазы и крупных частиц γ – фазы. В данном состоянии температуры МП, определенные по температурной зависимости электросопротивления, находятся очень низко $T_s<100$ К.

В монокристаллах Co₄₉Ni₂₁Ga₃₀ при деформации сжатием обнаружена

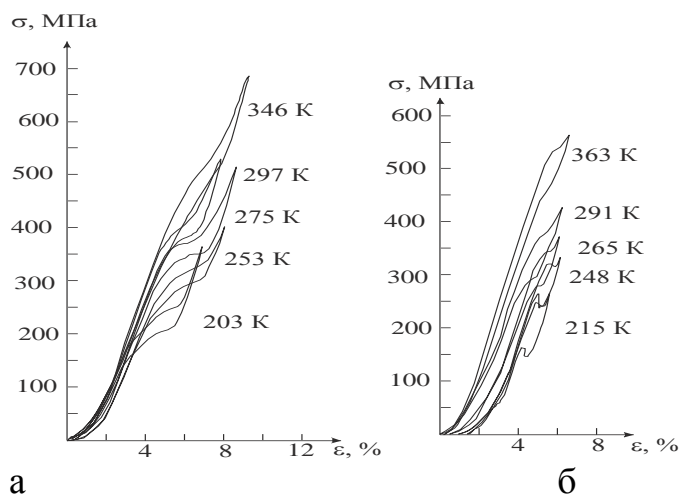


Рис.3. Кривые сверхэластичности в монокристаллах ферромагнитного сплава $\text{Co}_{49}\text{Ni}_{21}\text{Ga}_{30}$ при деформации сжатием; а) [001]- ориентация; б) [011]- ориентация

[011] – кристаллах полной СЭ не наблюдается даже при $T > A_f$ (рис.4). Механический гистерезис для [001] кристаллов изменяется в пределах 50-60 МПа.

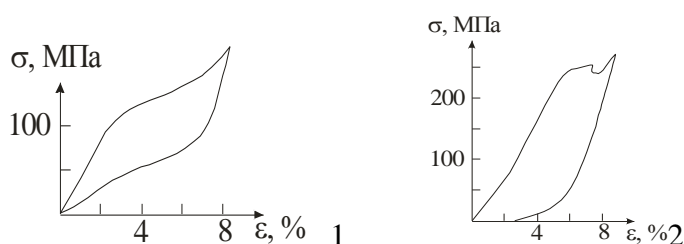


Рис.4. Кривые свехрэластичности при $T=297\text{ K}$ для монокристаллов метамгнитного сплава $\text{Ni}_{45}\text{Mn}_{36.5}\text{Co}_5\text{In}_{13.5}$ при деформации сжатием: кривая 1 – [001]- кристаллы; 2 – [011]- кристаллы

$\Delta\sigma[001] > \Delta\sigma[011]$. Малые значения величин механического и термического гистерезисов свидетельствуют о возможности проявления МЭПФ в данных сплавах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-08-91952 ННИО-а и РФФИ-АФГИ 09-08-92501-ИК-а, гранта CRDF RUE1-2940-TO-09.

Литература

1. Чумляков Ю.И., Киреева И.В., Панченко Е.Ю. и др. // Изв. вузов. Физика. 2008. Т. 51. № 10. С. 19-37.
2. Karaca E., Karaman I., Basaran B., Ren Y., Chumlyakov Yu., Maier H. //Adv. Func. Mater. 2009. V.19. P. 1-16.

рассчитанным значениям деформации решетки ε_0 для $\text{L2}_1\text{-12M}$ - МП (рис.2) [2].

Исследование

сверхэластичного поведения данного сплава показывает, что совершенная СЭ наблюдается только в [001]- кристаллах от $T=A_f$ до $T=353\text{ K}$ в

узком температурном интервале $\Delta T=56\text{ K}$. Максимальная величина $\varepsilon_{\text{СЭ}}=6\%$ обнаружена при $T=A_f$ и с ростом температуры уменьшается до $\varepsilon_{\text{СЭ}}=4\%$. В

Итак, на монокристаллах сплавов $\text{Co}_{49}\text{Ni}_{21}\text{Ga}_{30}$ и $\text{Ni}_{45}\text{Mn}_{36.5}\text{Co}_5\text{In}_{13.5}$ установлена

ориентационная зависимость ЭПФ, СЭ и величины механического гистерезиса $\Delta\sigma$ при сжатии: $\varepsilon_0[001] > \varepsilon_0[011]$; $\varepsilon_{\text{СЭ}}[001] > \varepsilon_{\text{СЭ}}[011]$ и